

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРАХУНКУ ТРИВИМІРНИХ СЦЕН ТА ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРІДЖЕНОГО ВОКСЕЛЬНОГО ОКТОДЕРЕВА

У статті приведено головні принципи побудови тривимірного зображення, особливості використання для цієї цілі технології вокселів, а саме вдосконаленої технології розрідженого воксельного октодерев.

На основі результатів проведених досліджень було визначено наявні та теоретично можливі складнощі широкого використання даної технології. Запропоновано та реалізовано оптимізацію ряду алгоритмів рендерингу, відбору значень, прослідковування вокселів, збереження інформації про їх властивості та розміщення.

Ключові слова: тривимірна графіка, розріджене воксельне октодерев, рендеринг, алгоритми.

Вступ. Сучасні засоби візуалізації вирішують ряд завдань у багатьох галузях науки та техніки. Однак більш досконалі технології все частіше вимагають нових, іноді радикальних рішень. Так, традиційна полігональна графіка, що використовується в переважній більшості випадків, у ряді завдань виявляється неоптимальною в застосуванні або і зовсім неприйнятною [1]. Тому актуальним стає завдання пошуку й розробки альтернативних методів візуалізації для вирішення проблем, що виникають в деяких випадках. Одним з таких розв'язків є застосування воксельної графіки замість полігональної. Воксельна графіка представляє об'єкти за допомогою атомарних елементів, розташованих у вузлах сітки - вокселів. Кожен воксель може містити деяку кількість даних - від кольору й прозорості, аналогічно двовірним пікселям, - до спеціалізованих даних, наприклад, інформації про тип матеріалу, щільність, пружність тощо [2]. Крім цього воксельна графіка, на відміну від полігональної, дозволяє візуалізувати високодеталізовані об'єкти без використання додаткових засобів, візуалізувати внутрішню структуру об'єктів, робити модифікації об'єктів на рівні вокселів. Можливість візуалізації об'єктів зовсім різної природи й легкість модифікацій роблять воксельну графіку вигідною альтернативою полігональної графіки в багатьох напрямках і додатках.

Постановка проблеми. Для сучасних апаратних і програмних систем досить проблематично робити візуалізацію комплексних сцен за допомогою воксельної графіки з ряду причин. Основною причиною є великий розмір сітки і відповідно, більші обсяги воксельних даних, присутніх у цій сітці. Процес обробки й візуалізації таких сіток найчастіше вимагає в десятки або й сотні разів більше обчислювальних ресурсів, ніж можуть надати сучасні апаратні системи [3].

Існують різні методи підвищення ефективності візуалізації воксельної графіки, але найбільш популярним і ефективним способом як підвищення швидкості обробки, так і скорочення розмірів воксельних даних, є застосування ієрархічної структури - розрідженого октодерев. Так чи інакше дана структура є основою багатьох відомих методів, орієнтованих на підвищення швидкості обробки [4], або методів, орієнтованих на скорочення обсягів даних. Однак універсальність таких структур хоч і висока, але не нескінченна. Багатьом сучасним програмним системам потрібні більш спеціалізовані підходи до роботи з воксельними даними. Робота з комплексними сценами, що містять велику кількість об'єктів, сценами, що містять динамічно змінювані об'єкти, сценами, що мають велику роздільну здатність сітки, вимагає нових методів організації й обробки воксельних даних.

Пропоноване рішення. Для вирішення проблем візуалізації за допомогою воксельної графіки в системах моделювання пропонується спеціалізований метод, орієнтований на вирішення проблем, пов'язаних з обсягами даних і швидкістю їх обробки в ряді випадків. У більшості випадків тривимірній сцені властива яскраво виражена неоднорідність вмісту: в сцені можуть бути присутні різні рухомі об'єкти, наприклад різноманітні механізми й апарати, а також статичні об'єкти - які-небудь приміщення, поверхні, перешкоди тощо. При візуалізації такої сцени за допомогою воксельної графіки, можна визначити наступне. По-перше, неоднорідність полягає в приналежності різних груп вокселів різним об'єктам - можна явно розділити до якого об'єкта відноситься той чи інший воксель. По-друге, неоднорідність існує серед самих об'єктів - можна явно виділити, об'єкти, що змінюються та незмінні. Таким чином, можна визначити два варіанта неоднорідності: поділ вокселів на класи - по приналежності до того або іншому об'єкту та поділ об'єктів на класи - об'єкти, що змінюються та незмінні. Очевидно, що сцени такого типу вимагають індивідуального підходу й існуючі методи, що полягають у застосуванні октодерев, що розділяє всю сцену всього на два класи вокселів, будуть неефективні.

Допустимо наявність деякої сцени $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ та наявність у ній визначеної кількості вокселів v . Виходячи з такої властивості вокселів, як однозначний стан - пустий або непустий, у сцені можна визначити дві підмножини, що не пересікаються: P - множина непустих вокселів і Z - множина пустих вокселів. При цьому $P \cup Z = V$ і в такому випадку, якщо $v \in V$, то $v \in P \oplus v \in Z$, що говорить про однозначний поділ.

У цьому випадку очевидно, що класичні реалізації октодерев тут не підходять, тому що в цьому випадку вокселі розподіляються або в об'єктах, або в множині порожніх вокселів, у той час, як розріджене октодерево передбачає наявність лише двох варіантів розподілу, так ніби сцена складається тільки з одного об'єкта й пустих вокселів. У випадку, якщо потрібно виключити з розрахунків не тільки вокселі порожньої множини, а й вокселі, асоційовані з деяким об'єктом, просте октодерево не допоможе.

Для здійснення безпосереднього розбиття сцени й формування вузлів пропонується використовувати підхід, аналогічний розбиттю за допомогою октодерев. Сформулювати ідею можна у двох принципах:

- пропуск порожніх вокселів, аналогічний пропуску при використанні октодерев;
- оптимальна організація мінливих об'єктів, із чим при використанні октодерев виникають проблеми.

Якщо розглядати сам процес формування октодерев [5], то основна ідея полягає в рекурсивному розбитті простору на вісім рівних частин, які утворюють вузли (рис. 1). Очевидно, що вокселі мінливого об'єкта не вигідно зберігати в структурі такого типу, оскільки після кожної зміни об'єкта потребується зміна самого октодерев, що в деяких випадках може зводитися до повної перебудови цього дерева.

Головною відмінністю пропонованого методу від застосування октодерев для організації воксельних даних є поділ усіх вокселів сцени за ознакою приналежності до того або іншого об'єкта, а поділ об'єктів - за способом обробки - на об'єкти, що змінюються та об'єкти незмінні (рис. 2). Кожний вузол, що асоціюється з конкретним об'єктом, представленим на сцені, а не є частиною простору. Усі вокселі, що представляють один об'єкт, розміщуються в одному вузлі. Кожному вузлу ставиться у відповідність деякий блок даних, фактично - деяка частина всієї воксельної сітки сцени. Таким чином, проводиться перехід від великої однорідної сітки до деякої кількості малих сіток.

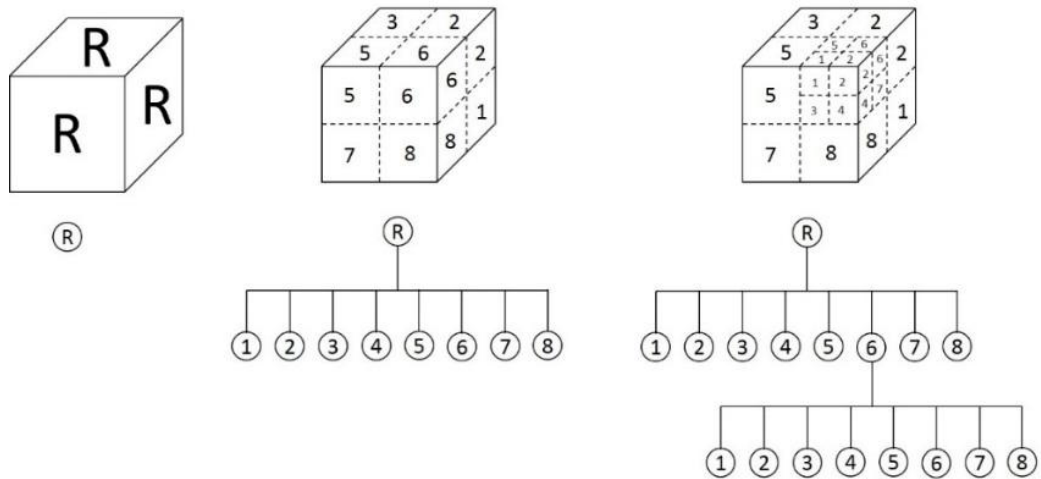


Рис. 1. Розбиття за допомогою октодерера

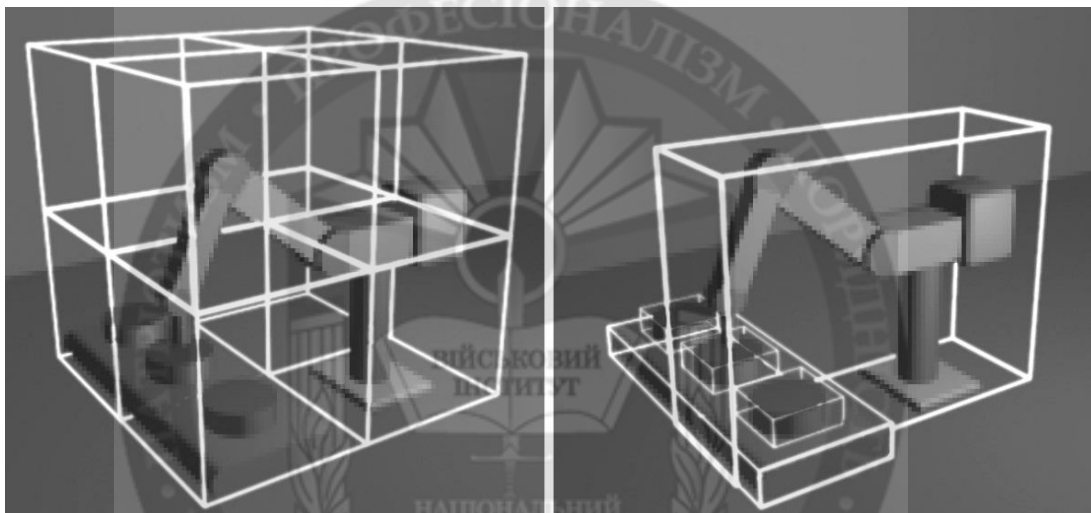


Рис. 2. Приклад першого рівня розбиття сцени за допомогою класичного октодерера (ліворуч) і за допомогою пропонуваного способу (праворуч)

Від ієрархії вузлів і обмежуючих об'ємів на даному етапі пропонується відмовитися й розташовувати всі вузли і їх об'єми на одному рівні (рис. 3). Це зумовлено тим, що кожний об'єм уже містить в собі окремий самостійний об'єкт, навіть якщо логічно він може бути частиною іншого об'єкта. Тим більше, що всередині цього об'єму дані можуть бути організовані довільним чином.

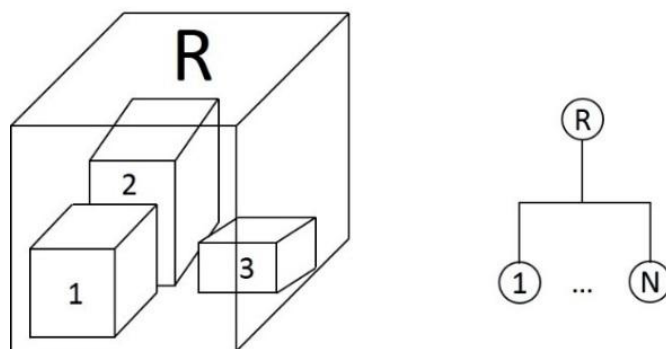


Рис. 3. Розбиття сцени пропонуванним способом

Застосування обмежуючих об'ємів у цьому випадку зводиться до визначення меж кожного об'єкта, й відповідно, блоку воксельних даних кожного вузла. Найбільш підходящим типом обмежуючого об'єму для дискретного воксельного простору є паралельний осям обмежуючий паралелепіпед. Він потребує всього три координати для позначення початкової точки й три значення, що позначають довжини його ребер. В пам'яті ЕОМ така структура обмежуючого об'єму буде мати компактний вигляд, більше того, усі значення будуть цілими.

Визначення значень обмежуючого об'єму полягає в знаходженні в блоці даних кожних мінімальних і максимальних значень координат вокселів. Така процедура повинна виконуватися один раз під час сегментації всієї сцени й щоразу після зміни координат вокселів усередині цього об'єму. Процедурі сегментації сцени пропонується робити на підставі розташування воксельних даних у пам'яті. В даному класі сцен кожен самостійний об'єкт є незалежним, зберігаються вони або в окремому файлі, або в окремій області пам'яті, перед тем, як завантажуються в сцену, тому для формування кожного вузла потрібно тільки роздільне завантаження воксельних даних з відповідного файлу або області даних. Після цього кожний вузол буде містити свій блок воксельних даних.

Для організації сцени в пам'яті ЕОМ пропонується структура даних (рис. 4), що складається з наступних елементів:

1. кореневий елемент сцени – структура, що містить вказівники на всі кореневі елементи сцени;
2. вузлові елементи сцени – структури даних пам'яті, що містять вказівники на блок даних пам'яті, які зберігають воксельні дані, а також містять в собі обмежуючий об'єм і значення, що визначають тип об'єкта, що представляється, і тип структури даних, використовуваної для організації зберігання воксельних даних;
3. влок даних – область пам'яті, де розташовується частину сітки (усі вокселі об'єкта), представлена або октодеревом, або звичайним масивом.

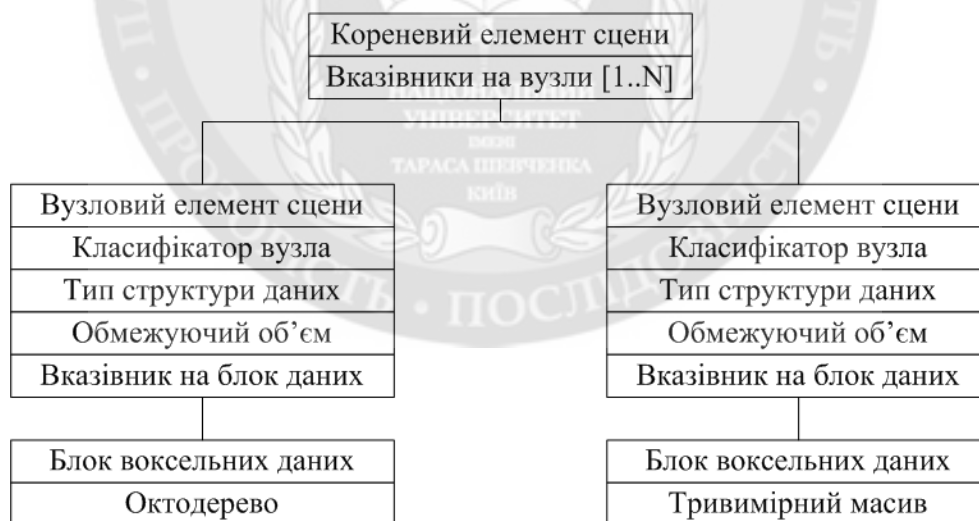


Рис. 4. Організація на рівні даних

У кожний такий вузол сцени в майбутньому можливо буде додавати різну додаткову інформацію, наприклад палітру або рівень деталізації для октодерева, що дозволить додатково скоротити обсяг даних, або підвищити продуктивність візуалізації.

Висновки. Існуючі проблеми воксельної графіки можуть бути вирішені не тільки за рахунок збільшення обчислювальної потужності та апаратній підтримці, але й за рахунок впровадження ефективних методів обробки й візуалізації в окремих випадках. Такі методи

особливо важливі в ряді галузей, що швидко розвиваються, у яких візуалізація є другорядним завданням, тому не може використовувати всі ресурси ЕОМ. Запропонований спосіб візуалізації тривимірних воксельних сцен може бути впроваджений у різні галузі науки й техніки, де необхідним є компактне представлення й ефективна візуалізація специфічних типів сцен, що містять об'єкти у воксельному вигляді. Перевагами запропонованого методу наступні:

- перенесення візуалізації однорідного масиву вокселів у візуалізацію організованих груп вокселів.

- поділ вокселів і поділ самих об'єктів, що дозволяє вести роботу з кожним класом об'єктів окремо, вивільняючи деяку кількість пам'яті й обчислювальних потужностей.

- логічне, наближене до натурального представлення сцени й видимих об'єктів, необхідне для більшості сучасних завдань.

Основне застосування даний метод може знайти в області симуляційного й модельного програмного забезпечення, де для цього існують усі передумови.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Лахов А.Я. Программное обеспечение для стереовизуализации результатов конечно-элементного моделирования [Электронный ресурс] / А.Я. Лахов - «Инженерный вестник Дона», 2013, №1

2. Gibson S. Beyond Volume Rendering: Visualization, Haptic Exploration, and Physical Modeling of Voxel-based Objects, Visualization in Scientific Computing, 1995, Vol. 32, No. 1, pp. 10-24.

3. Kaufman A., Cohen D., Yagel R. Volume Graphics – IEEE Computer 1993, Vol. 26, №7, – pp. 51-64

4. Knoll A.A Survey of Octree Volume Rendering Methods / 1st IRTG Workshop. – 2006. – P. 8-19.

5. Laine S., Karras T. Efficient Sparse Voxel Octrees, Transactions on Visualization & Computer Graphics, 2011, Vol. 17, No. 8, pp. 1048-1059.

Рецензент: д.т.н., проф. Сбігнєв А.І., провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., доц. Бойчук В.А., Матвеев П.Ю.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН И ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЕЖЕННОЙ ВОКСЕЛЬНОГО ОКТОДЕРЕВА

В статье приведены главные принципы построения трехмерного изображения, особенности применения для этой цели технологии вокселей, в частности усовершенствованной технологии разреженного воксельного октодерева.

На основании результатов проведенных исследований было определено имеющаяся и теоретически возможная сложность широкого использования данной технологии. Предложено и реализована оптимизация ряда алгоритмов рендеринга, отбора значений, отслеживания вокселей, сохранения информации об их свойствах и размещении.

Ключевые слова: трехмерная графика, разреженное воксельное октодерево, рендеринг, алгоритмы.

Ph.D. Boychuk V.O., Matvyeyev P.Ju.

OPTIMIZATION OF 3D SCENES AND OBJECTS CALCULATIONS, USING SPARSE VOXEL OCTREE

This paper contains fundamental principles of construction of three-dimensional image and application features of using of voxel technology, particularly, improved Sparse Voxel Octree technology for this purpose.

Determination of existing and theoretically possible complexities of wide application of this technology is based on the results of conducted research. Here was proposed and implemented a number of optimization algorithms for rendering, values selection, voxel tracking, storing an information about their properties and accommodation.

Keywords: three-dimensional graphics, sparse voxel octree, rendering, algorithms.